

LA INCLUSIÓN DE LA DIMENSIÓN TEMPORAL EN LA PLANIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS

M.J. Salado García
J. Bosque Sendra
F.J. Escobar Martínez

Departamento de Geografía - Universidad de Alcalá

*Artículo presentado a la IX Conferencia Iberoamericana de SIG
Cáceres, 24-26 de septiembre de 2003*

RESUMEN

Las posibilidades reales de utilizar determinados tipos de equipamientos colectivos urbanos se ven condicionadas, no sólo por la distancia o cercanía de esas instalaciones al domicilio o lugar de trabajo habitual de la población potencialmente usuaria del mismo, sino por el horario de apertura de las mismas. En la evaluación de la situación dotacional de distintas áreas urbanas y en la subsiguiente planificación se debería contemplar, pues, esa dimensión temporal.

La capacidad de los Sistemas de Información Geográfica de realizar cálculos de distancias, bien en línea recta, bien a través de una red, ha permitido incorporar diversos tipos de medidas de accesibilidad espacial, así como algunos modelos de localización-asignación utilizables en las tareas de planificación de equipamientos colectivos. Hasta el momento, sin embargo, no ha sido contemplada la inclusión en esos métodos de evaluación y planificación de equipamientos de las restricciones que los horarios laborales, escolares, comerciales, etc. imponen al uso efectivo de esos equipamientos. Estas trabas horarias son especialmente graves en el caso de equipamientos como las guarderías y escuelas de educación infantil, en que de manera ineludible (la inmensa mayoría de estos centros no disponen de servicio de autobús escolar), un adulto ha de acompañar al niño hasta el centro antes de iniciar su jornada laboral e ir a recogerlo una vez finalizada ésta.

Hace ya unas décadas, la Geografía del Tiempo de Torsten Hägerstrand planteó una aproximación a este problema que evaluaba la posibilidad (o imposibilidad) de los individuos de acceder a unos recursos temporal y espacialmente localizados, dadas una configuración del medio físico (distancias, red de calles y de transporte colectivo) y una disponibilidad determinada de medios de transporte (que supone una velocidad máxima de desplazamiento).

En esta comunicación, mostramos algunas de las posibilidades ensayadas hasta el momento de trasladar a un Sistema de Información Geográfica vectorial estos planteamientos, que incluyen una modelización más completa del entorno físico y social de los usuarios, así como de las circunstancias personales concretas que restringen o imposibilitan el uso potencial de esos equipamientos y que inciden, en definitiva, en la calidad de vida de la población.

PALABRAS CLAVE

Equipamientos colectivos, accesibilidad espacio-temporal, Geografía del Tiempo, SIG.

1. ACCESIBILIDAD Y PLANIFICACIÓN DE EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS

Una larga tradición en la planificación territorial confiere a los equipamientos colectivos un papel relevante como instrumentos de desarrollo urbano y regional. Tanto las actividades económicas como la cohesión y el bienestar social se benefician de un sistema de dotaciones para el consumo colectivo adecuadamente trabado (Leal y Ríos, 1988; Bond, 1999; Boyne *et al.*, 2001; Joerin *et al.*, 2001). La accesibilidad a dichos elementos se convierte, así, en un criterio esencial de evaluación de la situación dotacional de un área. Ello nos lleva, necesariamente, a una reflexión previa sobre el propio concepto de *accesibilidad*.

1.1. Diversidad y evolución del concepto accesibilidad

Aunque frecuente y largamente utilizado, el término accesibilidad no tiene, ni mucho menos, una única y consensuada acepción (Pooler, 1995; Handy y Niemeier, 1997; Kulkarni *et al.*, 2000; Gutiérrez, 2001; o Salado, 2003, entre otros). Muy a menudo, se ha entendido en términos de proximidad espacial entre una demanda agregada y una serie de puntos de oferta. Se ha supuesto que esta cercanía facilita *a priori* las posibilidades de interacción y contacto y, por tanto, el acceso a un puesto de trabajo, a los servicios comerciales, educativos, de ocio, etc. (Öberg, 1976; Gregory, 1987; Levinson, 1998; Jiang *et al.*, 1999).

Así ha sido incluido en los Sistemas de Información Geográfica. La capacidad de estos sistemas de realizar cálculos de distancias, bien en línea recta, bien a través de una red, de trazar rutas óptimas, así como de almacenar las características de los tres elementos que intervienen en las distintas medidas de accesibilidad espacial (puntos de oferta, puntos de demanda y espacio o red de transporte sobre el que se realizarán los desplazamientos) como atributos de elementos puntuales o lineales, ha permitido su incorporación y uso como función predefinida o como resultado de sencillas tareas de programación (mandato ACCESSIBILITY de ArcInfo 7.x o macros de Idrisi32 incluidas en el programa LOCALIZA, respectivamente; ver Palm, 2003).

Sin embargo, tras las importantes mejoras de los últimos años en los sistemas de transporte y comunicaciones cabe plantearse si la proximidad sigue teniendo el mismo peso en el acceso a los recursos localizados en el espacio. No cabe duda de que esas innovaciones o mejoras pueden rebajar, en ocasiones anular, la fricción de la distancia. ¿Puede inferirse, entonces, que la accesibilidad a los recursos del territorio habría mejorado sustancialmente en los últimos tiempos? No. No, al menos, sin matices. Sabemos que, paralela e irremediabilmente unidos a la llamada convergencia espacio-temporal (Janelle, 2002), se han dado otros dos fenómenos:

- Al tiempo que el mundo parece haber “encogido” también se ha fragmentado: desde el punto de vista espacial y desde el punto de vista social. Las posibilidades de hacer uso de los recursos del entorno aumentan; pero no de la misma manera para todos los individuos ni para todas las regiones. A todos nos debería preocupar la creciente distancia social en cuanto a condiciones y calidad de vida entre los que se benefician de esas innovaciones técnicas y los que no tienen acceso a ellas.

- Medios de transporte cada vez más rápidos y eficientes “acercan” lugares distantes, pero facilitan, al tiempo, una mayor dispersión espacial. El crecimiento de las distancias diariamente recorridas por la población y el fenómeno asociado del crecimiento de las áreas rururbanas en un ejemplo claro de este fenómeno. La sociedad industrial es una civilización que hace un uso intensivo del tiempo, y cada vez más extensivo del espacio (Kellerman, 1989); lo que supone una creciente complejidad en las trayectorias espacio-temporales de cada individuo (Thériault, *et al.*, 2002).

De todo ello se sigue: (1) el creciente peso que este concepto debería tener en políticas que persigan tanto la eficiencia como la justicia espacial; (2) la necesidad de realizar una adecuada medición de la accesibilidad de la población a los recursos localizados en el territorio que tenga en cuenta todas las condiciones y limitaciones de su uso, incluida la temporal (abordaremos este aspecto en el siguiente epígrafe); (3) la sugerencia de complementar las medidas agregadas de accesibilidad espacial a los recursos con medidas basadas en las posibilidades personales de acceso y elección (Miller, 2003c); y (4) la necesidad de incorporar de forma efectiva estas consideraciones a las herramientas usuales de planificación territorial, entre las que se cuentan los SIG y de evitar un uso acrítico de la herramienta.

1.2. La necesaria inclusión de la dimensión temporal en la medida de la accesibilidad

A pesar de la diversidad de índices mencionada en el epígrafe anterior, raramente se incorporan los horarios de apertura al público de esas instalaciones, que suponen, en definitiva, una de las condiciones imprescindibles para que la población pueda hacer uso efectivo de ellos. En un contexto en el que muchas de las actividades humanas han de realizarse en espacios funcionalmente segregados y distantes unos de otros, y durante períodos de tiempo prefijados (horarios laborales, de acceso a determinados servicios), parece clara la necesidad de contemplar en nuestros estudios las limitaciones que esa dimensión temporal impone a las actividades cotidianas y, en consecuencia, la posibilidad de incidir sobre la calidad de vida de los ciudadanos actuando sobre esa dimensión temporal (Browne, 1983).

Hace ya unas décadas, la Geografía del Tiempo de Torsten Hägerstrand planteó una aproximación a este problema que evaluaba la posibilidad (o imposibilidad) de los individuos de acceder a unos recursos temporal y espacialmente localizados, dadas una configuración del medio físico (distancias, red de calles y de transporte colectivo) y una disponibilidad determinada de medios de transporte (que supone una velocidad máxima de desplazamiento). Este tipo de análisis permite observar los cambios en la accesibilidad efectiva tras modificar los horarios de los servicios, algunos elementos de la red de transporte, etc. (ver Lenntorp, 1977; o Mey y Heide, 1997). Sin embargo, los ensayos para su incorporación a una herramienta habitual en las tareas de diagnóstico y planificación territorial como son los Sistemas de Información Geográfica, no se han producido hasta fechas muy recientes. Revisaremos a continuación, de forma muy somera, los fundamentos de la Geografía del Tiempo, así como las reflexiones y tanteos hechos hasta el momento para su incorporación a un SIG.

2. ACCESIBILIDAD ESPACIO-TEMPORAL: MARCO TEÓRICO Y ENSAYOS DE OPERACIONALIZACIÓN UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.1. La Geografía del Tiempo de T. Hägerstrand

La llamada Geografía del Tiempo surge en el Departamento de Geografía Social y Económica de la Universidad de Lund (Suecia) en los años 60 en el marco de estudios de geografía regional aplicada encaminados a “comparar las condiciones de vida de la población en diferentes partes del país y averiguar la forma de igualarlas en cuanto a acceso a los puestos de trabajo, educación, servicios médicos, cultura, esparcimiento, etc.” (Hägerstrand, 1989, p. 111)¹. Esta coyuntura supuso un punto de partida de una amplia reflexión, liderada por el profesor Torsten Hägerstrand, sobre las limitaciones que el contexto físico y socio-económico impone a las trayectorias vitales de los individuos y cómo una planificación adecuada puede flexibilizarlas, contribuyendo, por tanto, a una mejora de la calidad de vida.

Como es sabido, parte de unos supuestos básicos incuestionables: (1) toda actividad y todo desplazamiento se localizan en el espacio y consumen una cierta cantidad del tiempo; (2) el individuo es indivisible (no puede estar en dos lugares a un tiempo) y posee unas limitadas capacidades para desplazarse y para realizar más de una tarea a un tiempo; (3) las necesidades básicas de los individuos, la forma de organización social y de la producción se traducirán en unas demandas de tiempo secuenciadas y localizadas que los individuos podrán satisfacer en mayor o menor medida en función de sus roles sociales, sus posibilidades de desplazamiento o de delegación de funciones, todo lo cual determinará su calidad de vida (Hägerstrand, 1970; o Thrift, 1977).

Para el tema que nos ocupa, de su característico lenguaje gráfico nos interesa especialmente el llamado *prisma espacio-temporal* (*space-time prism*, *STP*). Sería el volumen espacio-temporal dentro del que se encuentran todas las posibles trayectorias (*paths*) de un individuo (Lenntorp, 1977; Parkes y Thrift, 1980, p. 460). La representación tridimensional de ese prisma se denomina espacio de accesibilidad potencial (*Potential Path Space*, *PPS*), y su proyección sobre el plano el área de accesibilidad potencial (*Potential Path Area*, *PPA*) (ver figura 1).

La mayoría de los primas son presentados de una forma aún más simplificada, reduciendo el espacio a una sola dimensión (eje horizontal). Veamos el ejemplo de la figura 2. Si las obligaciones y la velocidad máxima de desplazamiento de un individuo determinan el prisma espacio-temporal que aparece sombreado, éste sólo podrá utilizar los centros de servicios A y C, nunca el B, a pesar de encontrarse más próximo espacialmente al punto de origen (domicilio).

[Situación aproximada de la figura 1]

[Situación aproximada de la figura 2]

¹ La geografía humana sueca ha mantenido tradicionalmente una relación muy cercana con el planeamiento regional (Carlstein, 1975; Godkin y Emker, 1975; Martensson, 1975; Asheim, 1987; Lenntorp, 1999). Y en concreto, esa dimensión aplicada aparece en dos textos fundamentales de esta corriente (Hägerstrand, 1970 y Hägerstrand, 1989). Ambos han sido reproducidos y traducidos al castellano con permiso del autor en la revista *Serie Geográfica*, 5, pp. 93-109 y pp. 111-118, respectivamente; la paginación que aquí se menciona es la que corresponde a esta versión.

Partiendo de los ensayos realizados por Lenntorp con el modelo PESASP (*Program Evaluating the Set of Alternative Sample Paths*²), se han ensayado diversas fórmulas de integración de este concepto en entornos SIG, de manera que puedan aprovecharse las capacidades de estos sistemas de combinar esos cálculos de accesibilidad con otras variables temáticas georreferenciadas y enriquecer así los resultados. Discutiremos ahora brevemente las aportaciones realizadas sobre uno y otro modelos de datos.

2.2. La opción raster

Dentro de esta opción el grupo de investigadores más destacado es el de la Universidad de Auckland (Nueva Zelanda). Sus integrantes parten de que la comprensión de las limitaciones espacio-temporales de la población conducirían a un mejor entendimiento de las estructuras y procesos urbanos, particularmente de la accesibilidad y la interacción espacial. Su mayor interés es, por tanto, el de superar las dificultades de pasar de los prismas individuales a medidas agregadas de accesibilidad espacio-temporal de un grupo de población, incluyendo la interacción potencial entre sus miembros y los lugares de trabajo o estudio.

En los trabajos de Huisman *et al.* (1997, 1998a, 1998b) y Forer y Huisman (1998) se propone conceptualizar el espacio-tiempo como una malla tridimensional de *voxels* o *taxels*, unidades discretas en el espacio (dimensiones x,y) y en el tiempo (dimensión z) que almacenarían distintos valores. En su forma más sencilla adoptarían valores de 0 (ausencia) y 1 (presencia real/potencial de un individuo o equipamiento disponible). El conjunto de localizaciones con valor 1 se denomina *máscara*. El proceso para llegar a esas medidas agregadas tiene dos grandes fases: (1) construcción de las máscaras individuales para cada uno de los individuos y para los objetos/localizaciones con los que estos individuos interaccionan a partir de los datos sobre localización espacio-temporal de las actividades no discrecionales y de las características del sistema de transporte; (2) combinación de esas máscaras individuales en orden a explorar las posibilidades de interacción entre distintos individuos, y entre individuos y objetos/equipamientos. Como resultado de esta operación pueden almacenarse valores no binarios en los *taxels* (probabilidad de presencia en una celda, tiempo restante que se puede permanecer en ella, etc.) con los que se pueden obtener llamativas presentaciones tridimensionales como las que pueden consultarse en la página web http://divcom.otago.ac.nz/SIRC/GeoComp/GeoComp98/68/gc_68a.htm.

Es, sin duda, una solución que combina una gran plasticidad en la presentación de los resultados finales (esas figuras tridimensionales y animadas se parecen mucho a los mapas dinámicos que Lenntorp muestra en alguna de sus primeras publicaciones sobre la Geografía del Tiempo), con las posibilidades de análisis de los sistemas raster (por ejemplo, la de incorporar funciones de pertenencia borrosa a un prisma espacio-temporal, en este caso; o el análisis de incertidumbre, aplicado a la localización no sólo espacial, sino temporal de los fenómenos registrados, etc.). Los más graves inconvenientes de esta opción, son sin embargo, como para cualquier otro tipo de aplicación basada en el modelo raster: la necesidad de una gran capacidad de almacenamiento y la dificultad de modelizar adecuadamente elementos básicos del

² La revisión más amplia la hemos recogido en Lenntorp (1977); no obstante se pueden encontrar otras referencias, quizá más accesibles, en Carlstein (1975); Thrift (1977a), pp. 25 y ss.; Thrift (1977c), p. 435; Parkes y Thrift (1980), pp. 259, 264-268 y Lenntorp (1981); Golledge y Stimson, 1990, pp. 150-152).

problema, como por ejemplo la red de transporte. Los mismos autores apuntan como tareas a realizar de cara a futuros trabajos: la mejora en la estimación de los tiempos de viaje, así como la inclusión de una extensión del modelo que permita contemplar los nuevos modos de interacción virtuales (en la enseñanza, por ejemplo; Huisman y Forer, 1998b).

2.3. La opción vectorial

Desde el artículo de Harvey J. Miller (1991), varias han sido las líneas de trabajo desarrolladas para incorporar a un Sistema de Información Geográfica vectorial algunos de los conceptos básicos de la Geografía del Tiempo de Hägerstrand: el prisma espacio-temporal (STP) y las medidas de accesibilidad potencial de él derivadas (área de accesibilidad potencial, PPA, por ejemplo), así como las trayectorias individuales (*paths*).

El algoritmo ideado por Miller (1991) para determinar qué arcos de una red (a los que se ha asignado ya la impedancia correspondiente en unidades de tiempo) pertenecerían al PPA se divide en dos fases:

- **PPA tentativo** o cálculo de las impedancias acumuladas desde el nodo origen al resto de los nodos de la cobertura (siempre asumiendo que el camino escogido para llegar a los nodos de destino es el más corto y siempre que esa impedancia acumulada en minutos no exceda el presupuesto temporal del individuo). Los arcos cuyos nodos inicial y final estén incluidos en este primer conjunto de elementos seleccionados pertenecerán al PPA tentativo.
- **PPA final**: descarte de aquellos arcos desde los que no daría tiempo a llegar al nodo de destino a la hora límite; en otras palabras, aquellos en los que la impedancia acumulada en la primera fase en alguno de los nodos que los limitan más el número de minutos que consumiríamos para llegar al nodo de destino excedieran el presupuesto temporal del individuo.

Sobre planteamientos semejantes, O'Sullivan *et al.* (2000) han logrado cartografiar no sólo qué arcos pertenecen o no al PPA, sino cuánto tiempo podría pasarse en cada nodo de la red, utilizando como medios de transporte el tren de cercanías, el autobús y los desplazamientos a pie. Posteriormente, mediante funciones de interpolación se han transformado esos tiempos de permanencia adscritos a elementos puntuales (nodos) en superficies continuas, representadas mediante isopleas.

Habida cuenta de que cada individuo suele tener varios períodos de tiempo de uso discrecional y, por tanto, varios PPA, a lo largo de una jornada cotidiana, Kwan (1999) deriva otro concepto: las DPPA (*daily potential path areas*) individuales, reuniendo los arcos de la red alcanzables por ese individuo en cualquiera de sus períodos de tiempo de uso discrecional. Una vez calculada esa DPPA individual, mediante una sencilla consulta a la base de datos georreferenciada, puede conocerse cuántos equipamientos de distintos tipos se encuentran dentro de ese área accesible. A partir de estos datos es posible establecer diferencias individuales y de género en cuanto al acceso a los recursos localizados en el área de estudio (Kwan, 1999, 2000a; Weber y Kwan, 2002).

Desde los últimos años de los noventa observamos el intento de esta “nueva geografía del Tiempo” de abrirse a otras líneas de investigación. El propio Miller (1999) plantea años más tarde la

posibilidad de apoyar el estudio de la accesibilidad desde las limitaciones espacio-temporales de Hägerstrand con otras aproximaciones al tema como pueden ser las basadas en modelos gravitatorios o de interacción espacial o en los modelos de maximización de la utilidad. En otros trabajos de éste autor se sugiere la posibilidad de conectar los planteamientos de la Geografía del Tiempo con los modelos de demanda basados en la teoría de la actividad (Miller, 2003a). Kwan y Hong (1998) incorporan el efecto del conocimiento imperfecto del espacio en la configuración de los espacios de accesibilidad potencial. Wu y Miller (2002), por su parte, tratan de afinar más los supuestos básicos del cálculo de los prismas: los STP tradicionales y las medidas de accesibilidad basadas en ellos ignoran las variaciones espaciales y temporales en los tiempos de viajes en un entorno urbano. Se trata, en definitiva, de incorporar los efectos de la congestión del tráfico en las dimensiones de esos prismas espacio-temporales (ver también Weber y Kwan, 2002).

Por otra parte, el modelado y análisis de las trayectorias individuales (*paths* o *lifelines*) para su integración en un Sistema de Información Geográfica se reconoce de sumo interés en aplicaciones diversas: geografía de la salud (Löytenen, 1998; proyecto liderado por Mark y Egenhofer cuyo planteamiento puede consultarse en <http://www.spatial.maine.edu/~max/nih.html>; ver Mark *et al.*, 2000); modelos de transporte y usos de suelo (Thériault *et al.*, 2002); seguimiento de migraciones y análisis de la movilidad espacial de individuos, bien sean animales o humanos (Yang, 2001), etc. Sin embargo, no puede decirse que sea aún una metodología madura y contrastada. En una revisión somera de las publicaciones recientes hemos podido recoger aproximaciones al tema muy diferentes: desde el enfoque orientado a objetos que plantea Yang (2001) en su tesis doctoral, al diseño de un modelo de base de datos relacional creado por Thériault *et al.* (2002), o a la propuesta de McBride *et al.* (2002) de aprovechar las posibilidades de la segmentación dinámica de los SIG vectoriales para modelar las características tanto de las actividades estacionarias como de los desplazamientos de un individuo.

Tanto ésta como el modelado y análisis de accesibilidad espacio-temporal son, en definitiva, líneas de investigación abiertas en las que cabe esperar avances notables en los próximos años. Retomando la línea argumentativa del primer epígrafe presentamos, a continuación, las diferencias que el uso de distintas medidas de accesibilidad (espacial en un caso, espacio-temporal en otro) puede suponer en la apreciación de la situación dotacional de un área. Mostraremos así la importancia de una adecuada elección del método de evaluación en un problema tan sensible como la disponibilidad efectiva de equipamientos colectivos.

3. ESTRUCTURA ESPACIO-TEMPORAL Y ACCESIBILIDAD A LAS GUARDERÍAS Y ESCUELAS INFANTILES EN ALCALÁ DE HENARES

3.1. La accesibilidad espacial a las guarderías

A partir de la información tanto cartográfica como demográfica proporcionada por el Excmo. Ayto. de Alcalá de Henares a principios de los años noventa se generaron en ArcInfo la capa de manzanas y la de ejes de calle (tratada como cobertura de direcciones postales y como cobertura de red, a la que se incorporaron distintos tipos de impedancias para simular el coste en tiempo de los desplazamientos a pie, en autobús urbano y en coche). Se realizó además un intensivo trabajo de campo consistente en: (1)

entrevistas a los responsables de todos los centros educativos públicos y privados de esta etapa que funcionaban en la ciudad en ese curso 1992/3 y (2) encuestas a una muestra de usuarios de los mismos (unos 160 repartidos de forma proporcional a las plazas ofrecidas en cada centro). Sobre la red digitalizada se volcaron los datos de la demanda potencial (datos padronales), la muestra de la demanda real (usuarios de guarderías encuestados) y de la oferta (localización y características de los centros educativos de la ciudad) mediante sendas operaciones de geocodificación de direcciones.

Una vez construida la base de datos, se aplicaron algunas de las medidas de accesibilidad espacial comunes, utilizando funciones ya incorporadas al SIG comercial empleado: distancia a la guardería más próxima a través de la red de calles, número de centros situados dentro de un determinado alcance espacial (se probaron las distancias que los encuestados habían indicado como valor óptimo y valor máximo) y grado de accesibilidad a los centro de oferta desde cada uno de los centros de demanda utilizando distintas funciones de caída de la demanda. La primera de las posibilidades mencionadas se muestra en la figura 3. Puede observarse cómo el grado de accesibilidad (medido como cercanía) desciende de forma gradual desde las proximidades de los centros (según el tipo aparecen como puntos rojos, azules o amarillos) hacia las zonas más alejadas, dejando el sector nordeste de la ciudad y ciertas zonas del centro en la situación más precaria. (El recuadro señalado en rojo nos facilitará una comparación en detalle con los resultados de las medidas de accesibilidad espacio-temporal de la figura 4). El resto de las medidas de accesibilidad espacial ensayadas ofrecían resultados similares.

[Situación aproximada de la figura 3]

Ahora bien, entre las características que nos sirvieron para definir esos tres tipos de centros mencionados en el mapa anterior, destacó la amplitud del período en que la guardería o escuela infantil permanecía abierta y, por tanto, utilizable por los padres con hijos pequeños. Ese dato variaba desde las cinco horas de horario escolar partido habitual (9.00 a 12.00 y de 15.00 a 17.00) hasta las que permanecían abiertas de forma ininterrumpida trece o más horas (desde las 6.30 ó 7.00 de la mañana hasta las 20.00 ó 21.00). Lógicamente, esto impone limitaciones espacio-temporales muy desiguales a los potenciales usuarios de estos centros, confirmando que no sólo es importante disponer de una guardería a una distancia razonable del domicilio o del centro de trabajo de los padres, sino que además tiene que tener un horario que haga compatible su uso con los horarios de los padres.

3.2. La accesibilidad espacio-temporal a las guarderías

Confirmar o desmentir esa posible dificultad de coordinación espacio-temporal entre los horarios laborales y los horarios de las guarderías fue el objetivo básico de la mencionada encuesta a los usuarios y del tratamiento posterior realizado sobre los *diarios de actividad* individuales recogidos en la misma. Añadiendo elementos adicionales importantes a los trabajos revisados en el apartado 2.3 (secuencia real de actividades del individuo y horarios de los centros de oferta), en nuestro estudio se trató de calcular, para cada uno de los encuestados, el número y características de los equipamientos accesibles.

Así pues, tres eran los componentes a considerar en el cálculo del número y/o capacidad de las guarderías y escuelas infantiles efectivamente accesibles para los encuestados: (1) el medio físico en el que se realizan los desplazamientos (red de calles y sistemas de transporte público y privado); (2) la

velocidad de desplazamiento y la secuencia de actividades que en cada individuo determinan las *ventanas* temporales de libre disposición y el área alcanzable en ellas (PPA); y (3) la situación espacial de las estaciones o localizaciones en las que los individuos realizan actividades no discrecionales (domicilios, lugares de trabajo, guarderías, etc.) y el horario en que el usuario puede acceder a ellas.

Respecto a la red en la que se realizan los desplazamientos y que impone, por tanto, una determinada fricción al movimiento, recordamos que se utilizaron los mismos ejes de calle que habían servido para las operaciones de geocodificación. Por último, sobre esos valores de impedancia (medida ésta en unidades de tiempo), se calcularon las matrices origen-destino entre todos y cada uno de los nodos de la red de calles para los tres modos de transporte indicados, siguiendo siempre el camino de mínima resistencia (el mandato NODEDISTANCE de ArcInfo creo así los ficheros OD_PIE, OD_CAR y OD_BUS).

El tratamiento del contexto profesional y espacio-temporal individual se hizo a través de dos vías. Por una parte, se realizó un volcado convencional de los datos de los 158 cuestionarios válidos recogidos, excepto el *diario de actividades*, a un sólo fichero temático en el que cada registro reunía la información aportada por cada encuestado. Por otra, para los *diarios* se optó por crear ficheros independientes (USU002, USU003 ...) en formato *ascii*, haciendo coincidir los tres últimos caracteres del nombre con el número de la encuesta a que correspondía el ítem llave del fichero general. Esto nos permitía gestionar de una forma más flexible su longitud variable (en algunos casos se mencionaron hasta cuatro y cinco “actividades con un horario fijo”, mientras en otros se mencionó apenas una) y sus especiales condicionantes (manejo de información referida a horarios, desplazamientos, direcciones postales múltiples, etc.).

Con estos elementos en la base de datos se procedió a la creación del programa que permitiría establecer las relaciones entre esos tres ficheros temáticos (USUARIOS.PAT, GUARDE.PAT y OD_xxx) y realizar los cálculos de los prismas de accesibilidad potencial. El programa, escrito en AML, seguía los siguientes pasos:

- 1) Petición del nombre del fichero *ascii* en el que se escribirán los resultados del análisis y que posteriormente se podrá convertir en una tabla temática más de la base de datos.
- 2) Bucle de lista: para considerar los tres medios de transporte mencionados. En función del elegido en cada momento se establecen las relaciones con la matriz origen-destino correspondiente (OD_PIE, OD_BUS, OD_CAR) y se activa el cursor.
- 3) Anidado en el anterior: bucle de contador que se repetirá tantas veces como usuarios (registros) utilicen el medio de transporte seleccionado en ese momento.
- 4) Anidado en el anterior: segundo bucle de contador que se repetirá tantas veces como nodos existen en la red de calles: revisa las distancias entre el domicilio / trabajo y el resto de los nodos de la red; todos aquellos que tengan asignada una guardería y cumplan las limitaciones horarias peculiares en cada caso, se escriben en el fichero *ascii* de resultados, abierto en el primer paso de esta fase.
- 5) Terminada la ejecución del cuerpo principal del programa y cerrado el fichero de resultados, se totalizan los mismos:

- a) Número de centros alcanzables de cada uno de los tres tipos establecidos.
- b) Número de plazas alcanzables con las restricciones espacio-temporales individuales.
- c) Número de horas lectivas totales en los centros alcanzables con esas restricciones.
- d) Número de horas consecutivas en los centros alcanzables con las restricciones espacio-temporales de los encuestados (se descarta el período más corto en los centros de horario partido).
- e) Hora de salida más tardía y de llegada más temprana al domicilio con esas restricciones.
- f) Tiempo total invertido en desplazamientos.

No nos limitábamos sólo a sumarizar la longitud de los arcos o segmentos de carretera incluidos en el PPA o DPPA o el número de recursos (*opportunities*) incluidos en él (Kwan, 1999) o a contabilizar el tiempo que podríamos pasar en cada nodo de la red (O'Sullivan *et al.*, 2000), sino que se había conseguido conservar la secuencia diaria de actividades y tiempos de uso discrecional que, en definitiva iban a permitir evaluar la mayor o menor dificultad de coordinación espacio-temporal a que hacíamos referencia al comienzo de este apartado.

El resultado que muestra la figura 4 fue una de las salidas cartográficas obtenidas. En ella, a pesar de las dificultades de representar de forma conjunta los resultados de los cálculos realizados para 158 diarios de actividad individuales, puede observarse cómo la accesibilidad real al equipamiento “guarderías y escuelas infantiles” varía considerablemente entre personas con domicilios muy próximos (observar, por ejemplo, las diferencias que aparecen dentro del recuadro en rojo y comparar los resultados con los mostrados en esa misma posición en la figura 3). Queda patente, por tanto, que la consideración de las limitaciones temporales de los potenciales usuarios de estos centros es fundamental en la planificación de los mismos. Y que, aparte de una ajustada evaluación del número de plazas necesarias en una ciudad y de la localización más adecuada de los centros, la *planificación temporal* o el estudio de los horarios de apertura más ajustados a las necesidades de los usuarios es también un aspecto esencial. Tipos de análisis como el que aquí se ha ensayado pueden mejorar, creemos, las decisiones a este respecto.

[Situación aproximada de la figura 4]

4. CONCLUSIONES

Vivimos en ciudades funcionalmente segregadas y cada vez más extensas espacialmente. Ello supone un peso cada vez más relevante del sistema de transporte y de las medidas que favorezcan una mejor coordinación espacio-temporal de las actividades de los individuos. Los estudios de evaluación de la situación dotacional en un área no deberían ignorar estos hechos. La figura anterior muestra de forma elocuente, creemos, cómo un diagnóstico puede variar en función de los métodos empleados en su elaboración, en este caso medidas de accesibilidad a los equipamientos colectivos.

La incorporación de la dimensión temporal y, en concreto, de los conceptos de la Geografía del Tiempo de T. Hägerstrand a una herramienta de uso común en la planificación territorial como son los SIG es una línea de investigación abierta, de la que aún se espera recoger frutos importantes aplicables a la mejora de la calidad de vida de la población.

El desarrollo de los teleservicios basados en la localización (*location-based services, LBS*) y de las tecnologías capaces de registrar su propia localización en el espacio (*location aware technologies, LAT*), como los receptores GPS, está incentivando el diseño de bases de datos capaces de trabajar de forma más eficaz con objetos móviles (Miller, 2003b). Asimismo las LAT pueden combinarse con dispositivos portátiles como las llamadas PDA (*personal digital assistants*) para recoger *in situ*, ya en formato digital, las coordenadas espacio-temporales de las actividades / incidencias de un individuo u objeto móvil (Miller, 2003a).

Es cierto, sin embargo, que quedan aún numerosos problemas por resolver: desde una caracterización analítica y rigurosa de las entidades básicas de la Geografía del Tiempo (trayectorias individuales, prismas, estaciones, haces etc.), hasta técnicas más eficientes de recogida y selección de información espacio-temporal que preserven la necesaria confidencialidad de los datos individuales, nuevos métodos de visualización, consulta y análisis de la misma, tratamiento del error, etc (Kwan, 2000b; Miller, 2003b). Hasta donde conocemos, se han dado intentos parciales de abordar cada uno de esos problemas, pero falta aún una estructura que unifique todas esas aportaciones y pueda integrarlas, ya como una tecnología madura, en herramientas generales de planificación territorial (SIG/SADE).

No obstante, creemos que el horizonte es prometedor. En la aplicación brevemente expuesta aquí sobre las guarderías de Alcalá de Henares creemos haber demostrado que conocer en qué medida pueden coordinarse o no las distintas actividades que satisfacen las necesidades económicas, culturales, de vida social, etc. del individuo redundará en una planificación más realista de los equipamientos colectivos y en una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

Bibliografía

- Bond, P. (1999). *Basic infrastructure for socio-economic development, environmental protection and geographical disaggregation: South Africa's unmet challenge*. **Geoforum** 30: 43-59.
- Boyne, G., et al. (2001). *Spatial Equity and Public Services An empirical analysis of local government finance in England*. **Public Management Review** 3(1): 19-34.
- Browne, E. (1983). *Tiempo y ciudad*. **Ciudad y Territorio** 56: 5-17.
- Forer, P. y Huisman, O. (1998). *Space, Time and Sequencing: substitution at the physical / virtual interface*. **Varenius specialist meeting on Measuring and Representing Accessibility in the Information Age**, Asilomar, California.
- Gregory, D. (1987). *Accesibilidad*. **Diccionario de Geografía Humana**. Alianza. Madrid.
- Gutiérrez, J. (2001). *Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high speed line Madrid-Barcelona-French border*. **Journal of Transport Geography** 9: 229-242.
- Hägerstrand, T. (1970). *What about People in Regional Science?* **Papers of the Regional Science Association** 24: 7-21.
- Hägerstrand, T. (1989). *Reflections on 'What about people in Regional Science?'* **Papers of the Regional Science Association** 66: 1-6.
- Handy, S.L. y Niemeier, D.A. (1997). *Measuring accessibility: and exploration on issues and alternatives*. **Environment and Planning A** 29: 1175-1194.
- Huisman, O. y Forer, P. (1998a). *Computational agents and urban life spaces: a preliminary realisation of the time-geography of students lifestyles*. **Proceedings 3rd International Conference on GeoComputation**, Bristol, UK.
- Huisman, O. y Forer, P. (1998b). *Towards a Geometric Framework for Modelling Space-Time Opportunities and Interaction Potential*. **International Geographical Union Commission on Modelling Geographical Systems Meeting (IGU-CMGS)**, Lisbon, Portugal.

- Huisman, O., et al. (1997). *A Geometric Model of Urban Accesibility*. **AURISA 97 - The 25th Annual Conference of the Australian Urban and Regional Information Systems Association**, Christchurch, New Zealand.
- Janelle, D. G. (2002). *Space-Time Adjustments to Transportation, Communication and Information Technologies - Social Consequences and Policy Issues*. **Conference at University of Southern California**; presentation at: http://www.csiss.org/aboutus/presentations/files/janelle_sat.pdf
- Jiang, B., et al. (1999). *Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax*. **Computers, Environment and Urban System** 23: 127-146.
- Joerin, F., et al. (2001). *Une procédure multicritère pour évaluer l'accessibilité aux lieux d'activité*. **Revue internationale de géomatique** 1(11): 69-104.
- Kwan, M.-P. (1999). *Gender and individual access to urban opportunities: a study using space-time measures*. **Professional Geographer** 51: 210-227.
- Kwan, M.-P. (2000a). *Gender differences in space-time constraints*. **Area** 32(2): 145-156.
- Kwan, M.-P. (2000b). *Interactive geovisualization of travel-activity patterns using three-dimensional geographical information systems: a methodological exploration with a large data set*. **Transportation Research. Part C** 8: 185-203.
- Kwan, M.-P. y Hong, X.D. (1998). *Network-based constraints-oriented choice set formation using GIS*. **Journal of Geographical Systems** 5: 139-162.
- Kellerman, A. (1989). **Time, Space and Society: Geographical Societal Perspectives**. Kluwer Academic. Dordrecht.
- Kulkarni, R.G., et al. (2000). *Towards a percolation model of accessibility: an exploratory step*. **Computers, Environment and Urban Systems** 24: 421-434.
- Leal Maldonado, J. y Ríos Ivars, J. (1988). **Los espacios colectivos en la ciudad. Planificación de usos y servicios públicos**. MOPU - ITUR. Madrid
- Lenntorp, B. (1977). *A time - geographic approach to individuals' daily movements*. **Rapporter och Notiser** 33: 50 p.
- Levinson, D.M. (1998). *Accessibility and the journey to work*. **Journal of Transport Geography** 6: 11-21.
- Löytönen, M. (1998). *GIS, Time Geography and Health*. **GIS and Health**. En A. C. Gatrell and M. Löytönen. **GIS and Health**. Taylor & Francis, London, pp. 97-110
- Mark D. y Egenhofer, M. (1999). *Spatio-temporal GIS Analysis for Environmental Heath*, summary and full proposal of project at: <http://www.spatial.maine.edu/~max/nih.html>
- Mark, D. et al., (2000). *Spatiotemporal GIS analysis for environmental health: solutions using geospatial lifelines*. In Flahault et al. (eds): **Geography and Medicine**, Paris, Elsevier, pp. 65-78
- McBride, S., et al. (2002). *Management and Visualisation of Spatiotemporal Information in GIS*. **SIRC 2002 - The 14th Annual Colloquim of The Spatial Information Research Centre**, University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- Mey, M. G. y Heide, H.T. (1997). *Towards spatio-temporal planning: practicable analysis of day-to-day paths through space en time*. **Environment and Planning B**: 24: 709-723.
- Miller, H. J. (1991). *Modelling accessibility using space-time concepts within GIS's*. **International Journal of GIS** 5(3): 287-301.
- Miller, H. J. (1999). *Measuring Space-Time Accessibility Benefits within Transportation Networks: Basic Theory and Computational Methods*. **Geographical Analysis** 31(2): 187-212.
- Miller, H. J. (2003a). *Activities in space and time*. **Handbook of Transport 5: Transport Geography and Spatial Systems**. En P. Stopheer, K. Button, R. Haynes and D. Hensher, Pergamon / Elsevier Science: in press. At: http://www.geog.utah.edu/~hmliller/papers/Activities_Space_Time.pdf
- Miller, H. J. (2003b). *A measurement theory for time geography. Re-Presenting Geographic Information Systems: draft*. At: http://www.geog.utah.edu/~hmliller/papers/time_geog_measure.pdf
- Miller, H. J. (2003c). *What about people in geographic information science?* En D. Unwin (ed.) **Re-Presenting Geographic Information Systems**, John Wiley: in press. At: http://www.geog.utah.edu/%7Ehmliller/papers/what_about_people.pdf
- Öberg, S. (1976). **Methods describing physical access to supply points**. The Royal University, Departament of Geography. Lund.
- O'Sullivan, D., et al. (2000). *Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach*. **International Journal of Geographical Information Science** 14(1): 85-104.

- Palm, F. (2003). *Estructura general del programa LOCALIZA*. En Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (eds.): **SIG y localización óptima de instalaciones y equipamientos**, Ra-Ma, Madrid, pp. 117-145.
- Parkes, D. y Thrift N. (1980). **Times, spaces and places: a chronogeographic perspective**. Wiley. Chichester.
- Pooler, J.A. (1995). *The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility*. **Transportation Research**, A 29A(6): 421-427.
- Salado García, M.J. (2003). *Localización de equipamientos, accesibilidad y bienestar social*. En Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (eds.): **SIG y localización óptima de instalaciones y equipamientos**, Ra-Ma, Madrid, pp. 15-48.
- Theriault, D., et al. (2002). *Temporal GIS and Statistical Modelling of Personal Lifelines*. **Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications**, Ottawa. At: <http://www.ecole-navale.fr/fr/irenav/cv/claramunt/CRADSDH.pdf>
- Thrift, N. (1977). **An introduction to time-geography**. University of East Anglia. Norwich
- Weber, J. y Kwan M.-P. (2002). *Bringing Time Back In: A Study on the Influence of Travel Time Variations and Facility Opening Hours on Individual Accessibility*. **Professional Geographer** 54(2): 226-240.
- Wu, Y.-H., et al. (2001). *A GIS-based decision support system for dynamic network congestion analysis and routing software for measuring space-time accessibility in transportation planning and analysis*. **Journal of Geographical Systems** 3: 3-24.
- Yang, Z. (2001). **Modeling and reasoning with geospatial lifelines in Geographic Information Systems**. Tesis doctoral. Department of Geography, University of New York at Buffalo: 204 p. At: http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/images/diss_TOC.PDF

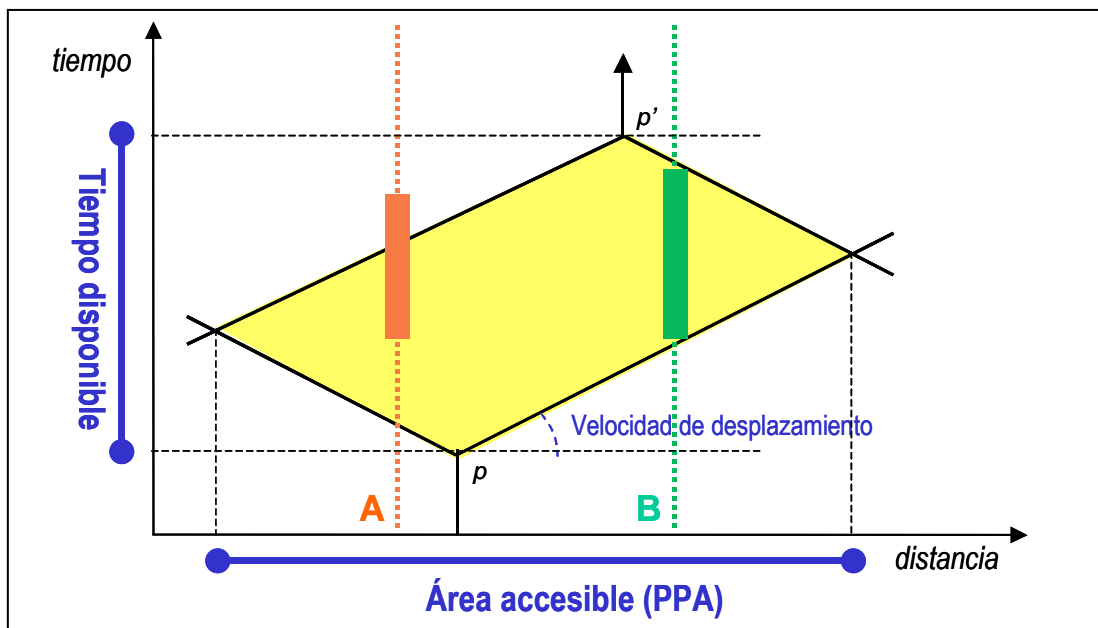
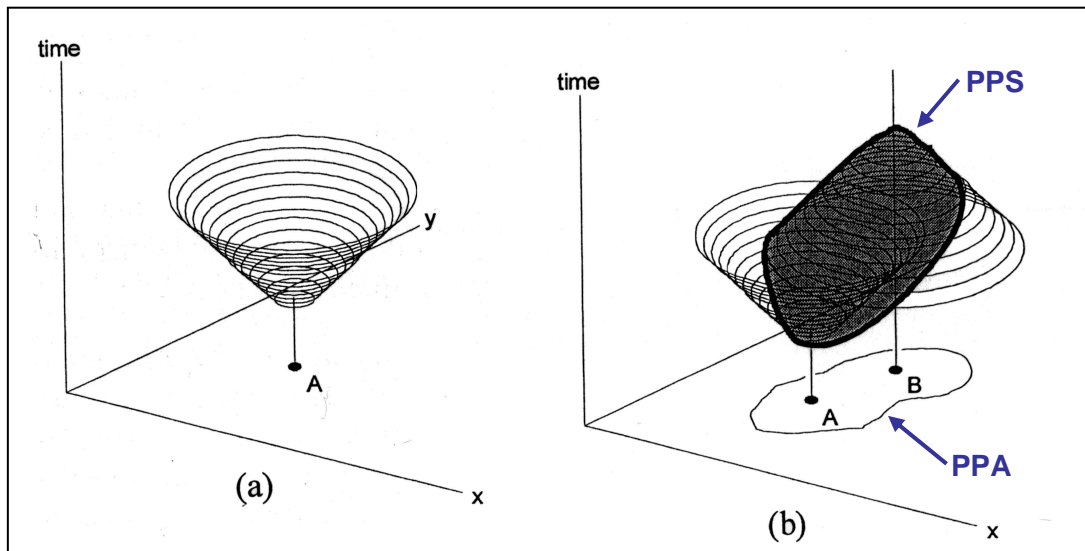
Lista de figuras

Figura 1. Espacio de accesibilidad potencial (PPS) y áreas de accesibilidad potencial (PPA): (a) alcance espacio-temporal desde el punto A sin limitaciones de horario de llegada y punto de destino; (b) espacio o superficie accesible con limitaciones espaciales (origen y destino) y horarias (horas de salida y de llegada) . Fuente: O’Sullivan et al., 2000, p. 89

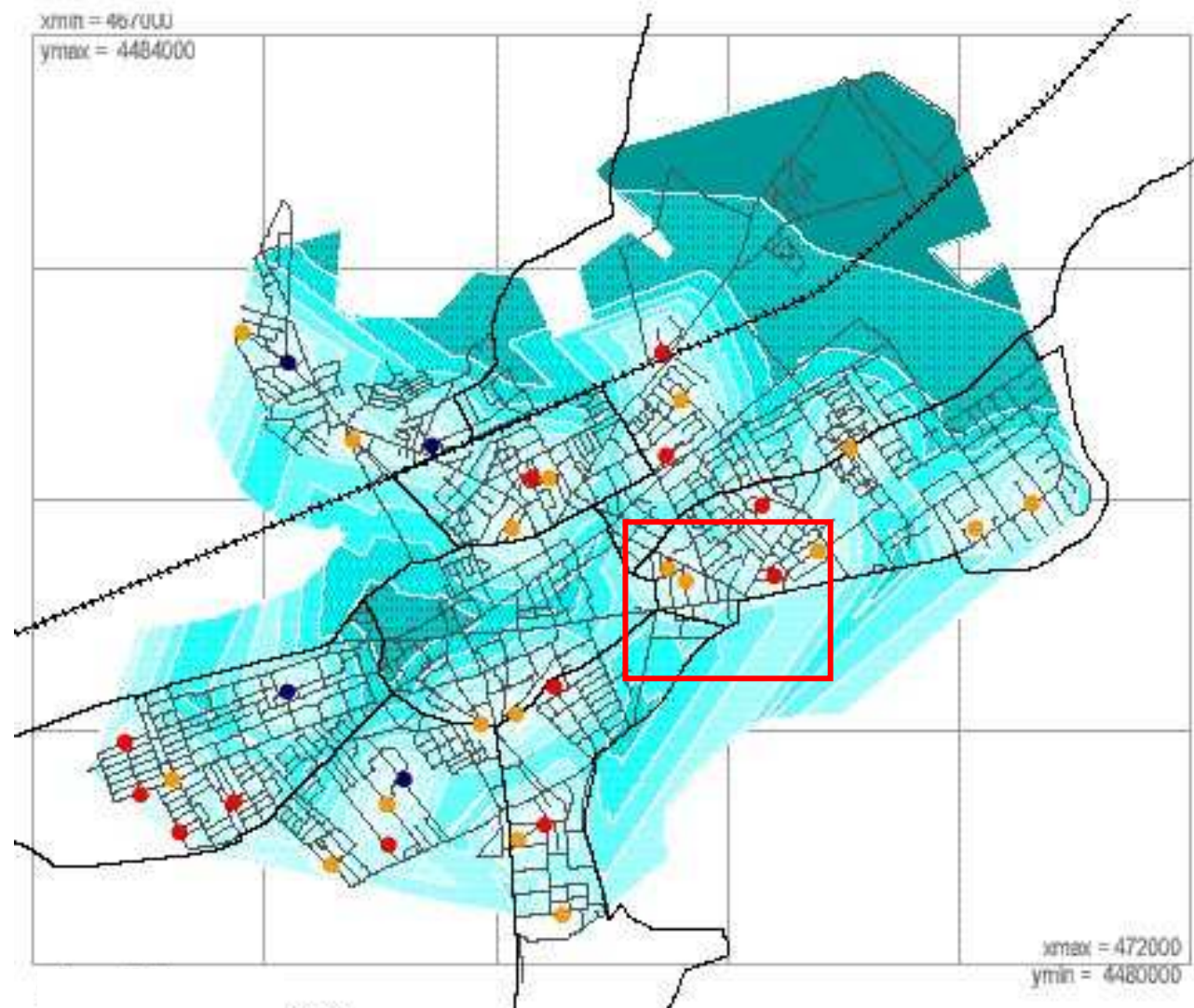
Figura 2. Prisma espacio-temporal individual

Figura 3. Distancia a la guardería / escuela infantil más cercana (distancias de red)

Figura 4. Número de plazas alcanzables teniendo en cuenta las restricciones espacio-temporales individuales de los encuestados



xmin = 467000
ymax = 4484000



xmax = 472000
ymin = 4480000



Tipos guarderías y esc.infantiles

- Privadas; hor.partido
- Públicas; hor.continuo
- Privadas;hor.amplio

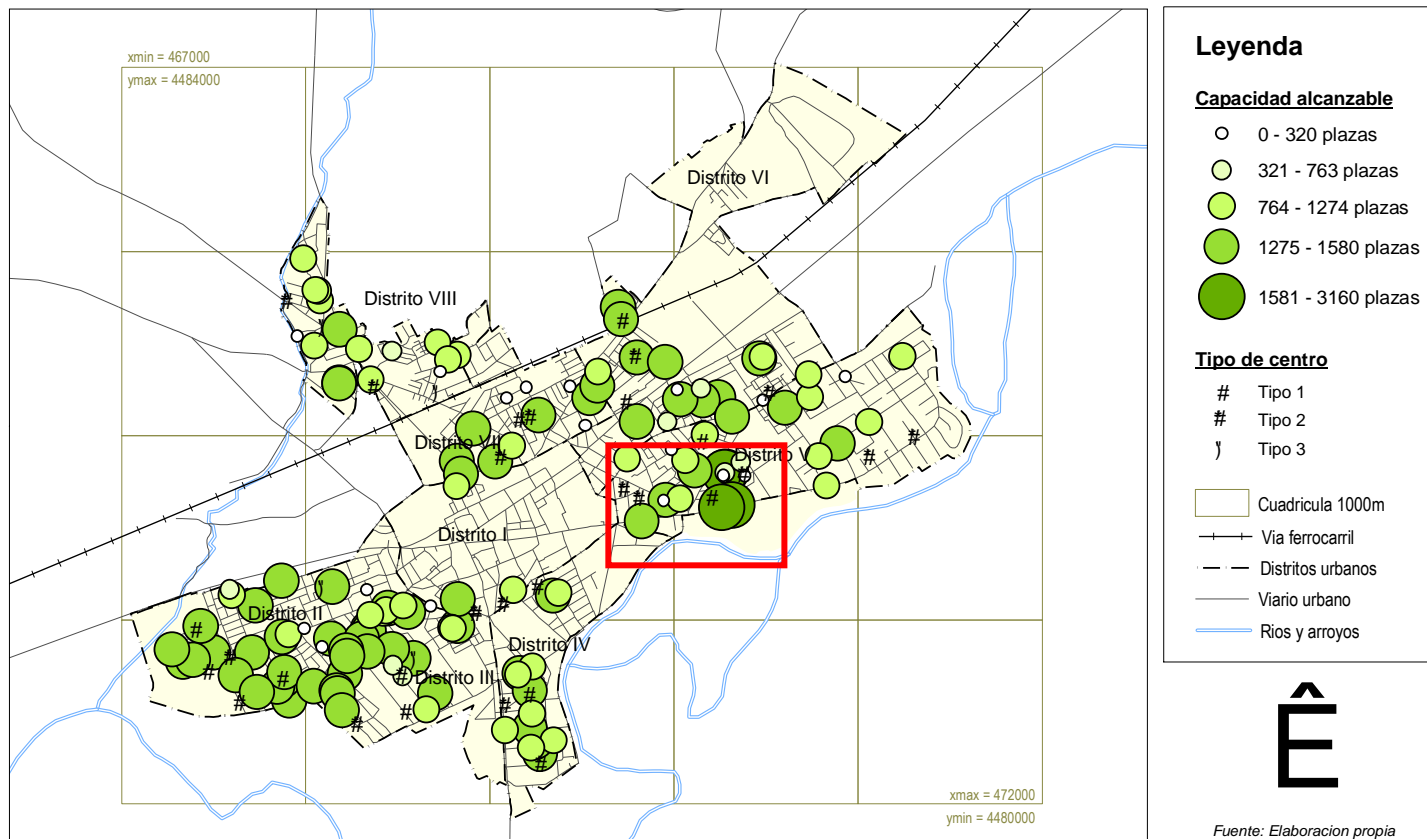
Distancia (metros)

- 0.022 a 82.373
- 82.373 a 140.727
- 140.727 a 197.954
- 197.954 a 259.258
- 259.258 a 323.900
- 323.900 a 411.884
- 411.884 a 788.637
- 788.637 a 1542.407

- Vialio urbano
- Via ferrocarril
- Distritos
- Malla 1000m.

Fuente: Elaboración propia

Numero de plazas escolares alcanzables con el presupuesto espacio-temporal de cada encuestado



Fuente: Elaboracion propia